

# 次世代車載機器向け実装信頼性評価手法の開発

Development of Reliability Evaluation Method for Vehicle Equipment

佐藤 正昭  
Masaaki Sato

高橋 佳子  
Keiko Takahashi

本田 直弥  
Naoya Honda

濱野 誠司  
Seiji Hamano

## 要 旨

車載機器は、エンジンルームや車室内での温度差が大きい過酷な使用環境で用いられ、熱に対する高い実装信頼性が必要である。しかし、リフロー時の温度による多層配線基板の熱変形の増大により、接合不良が発生し信頼性の低下を招く。そのため、加熱時の基板の挙動を詳細に把握する計測技術と予測・対策に向けたシミュレーション技術を組み合わせた信頼性評価手法が求められている。今回、車載機器を対象に加熱時の熱変形を詳細に分析可能な三次元熱変形計測技術の構築と高精度・高速なシミュレーション手法を開発したので報告する。

## Abstract

For Printed Wiring Boards (PWB) on vehicle equipment, it is necessary to assure reliability under large differences in temperatures, because such boards are used in the severe environments of the engine room and car interior. But deformation of PWB in reflow process decreases its reliability by causing incomplete soldering. We have developed a measuring technique for three-dimensional deformation that analyze behavior and a simulation method that predicts deformation of such boards in the high-temperature reflow process.

## 1. はじめに

近年、自動車における電子化の進展に伴い、当社においてもカーエレクトロニクス事業は重点事業の1つとして位置づけられ、事業の強化が図られている。

カーエレクトロニクスに用いられる車載機器は、エンジンルーム、車室内など温度差が厳しい過酷な環境下で使用されることから、熱に対する長期の信頼性を確保しなければ、電子回路の誤動作が生じ危険側故障が発生した場合、車両が暴走しコントロールができず、追突事故などで最悪死亡に至る可能性がある。

そのため、信頼性低下の要因の1つであるリフロー時の基板の熱変形による接合不良を防ぐために、多層配線基板の加熱時の挙動を把握するための計測技術と、設計段階で挙動を予測し対策設計を行うためのシミュレーション技術を組み合わせた信頼性評価技術が求められている。

しかしながら、従来の熱変形の計測方法はレーザ変位計やシャドウモアレ法など基板面外への熱変形に対する計測のみであり、基板面内の計測は不可能であることから、加熱された多層配線基板の詳細な挙動を把握することができない。一方で、従来の半導体パッケージの熱変形を対象とした樹脂材料の粘弾性解析[1][2]は、基板を単体の板としてモデル化し、多層配線基板の配線パターンを考慮していない。また、多層配線基板の樹脂材料に粘弾性解析を適用することは、非線形解析であるため基板サイズの拡大に伴い計算時間が増大するため実用的でない。そのため、新たなシミュレーション技術が必要と

なる。

本報告では、リフロー時における高温時の多層配線基板の熱変形を三次元で計測する技術と対策設計を行うためのシミュレーション技術を組み合わせた実装信頼性評価技術について述べる。

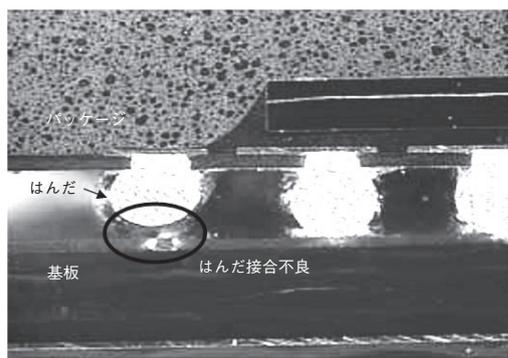
## 2. 車載機器における長期信頼性評価の課題

車載機器では使用環境が過酷なことから、長期信頼性の評価を行う温度サイクル試験で、温度範囲が $-40^{\circ}\text{C}/150^{\circ}\text{C}$ 、評価期間が1000サイクル以上において、はんだ接合部の信頼性を確保する必要がある。

この信頼性を低下させる要因として、最高温度 $260^{\circ}\text{C}$ となるリフロー時での多層配線基板の熱変形がある。基板と部品に相反する熱変形が高温で発生することにより、はんだ接合部に接合不良が発生する(第1図)。この不良により、温度サイクル試験や使用環境における温度変化から生じる基板および部品の熱変形のために、はんだ接合部での導通がとれなくなり機器の誤動作の原因となる。

そのため、はんだ接合部の信頼性を確保するためには、リフロー時の最高温度 $260^{\circ}\text{C}$ において熱変形が小さい基板が必要となる。

この高温で熱変形が小さい基板を設計するためには、リフローなどのような高温となる加熱時の挙動を詳細に把握する計測技術とともに、対策設計を行うためのシミュレーション技術を組み合わせた実装信頼性評価技術が求められているが、以下の技術的な課題がある。



第1図 はんだ接合不良の例  
Fig. 1 Failure of solder joint

- ①加熱時の三次元挙動を評価するための計測技術の開発
- ②多層配線基板の熱変形を予測するシミュレーション技術の開発

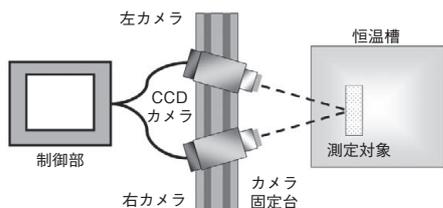
### 3. デジタル画像相関法による三次元熱変形計測技術の開発

高温に加熱された多層配線基板の熱変形の計測は、恒温槽で基板の温度を上昇させ、非接触でレーザ変位計やシャドウモアレ法を用いて反りを測定することで行われている。

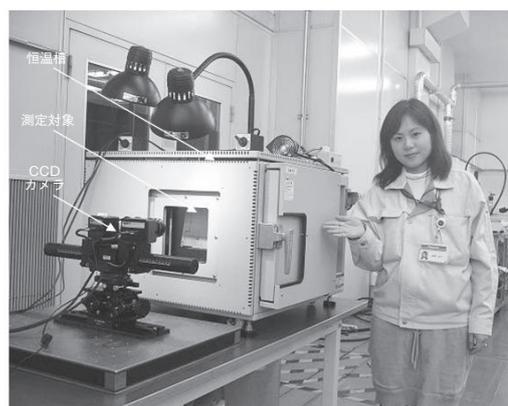
しかしながら、上記の計測方法では反りのような基板表面の凹凸しか計測することができず、部品が実装される位置での基板の伸び縮みを計測することができないため、実装時の不良現象を詳細に分析することができない。

そのため、加熱された基板の挙動を三次元で計測することを目的に、ステレオカメラとデジタル画像相関法を用いた三次元熱変形計測技術を構築した。

計測システムの構成を第2図に、外観を第3図に示す。計測システムは、2台のCCD (Charge Coupled Devices) カメラとカメラに接続された制御装置、測定対象を加熱する恒温槽からなる。恒温槽により、内部に設置された測定対象は加熱され、そのときの熱変形をカメラにより



第2図 三次元熱変形計測システム構成図  
Fig. 2 Schematic diagram of three dimensional measuring system for thermal deformation



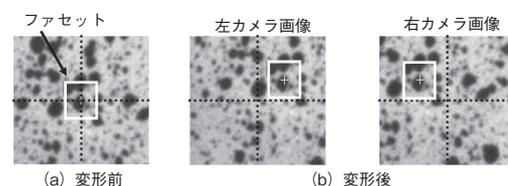
第3図 三次元熱変形計測システム外観図  
Fig. 3 External view of three dimensional measuring system for thermal deformation

撮影する。次に、第4図を用いて計測方法の原理について説明する。

計測対象には表面処理によってランダムなパターンを施し、2台のカメラにより加熱前である変形前と加熱後における変形後の画像を撮影する(第4図(a), (b))。

変形前の画像において基準となる任意の微小領域(ファセット)を抽出しておく。その後、計測対象は加熱されることにより変形が発生し、変形後のようにパターンが移動する。ここで左カメラ、右カメラで撮影された変形後の各画像において、各カメラの配置により発生する画像のずれを利用した三角測量の原理により計測対象までの距離と基準となるファセットの計測対象表面上での移動量を求めることで三次元計測を行う。

以上の方法とシステムを用いることにより、加熱時における多層配線基板の熱変形挙動を三次元で計測することを可能とした。



第4図 デジタル画像相関法の計測原理  
Fig. 4 Principle of digital imaging correlation method

### 4. 多層配線基板熱変形シミュレーション技術の開発

多層配線基板の熱変形は、各層における材料のヤング率、線膨張係数の差により発生するが、多層配線基板全

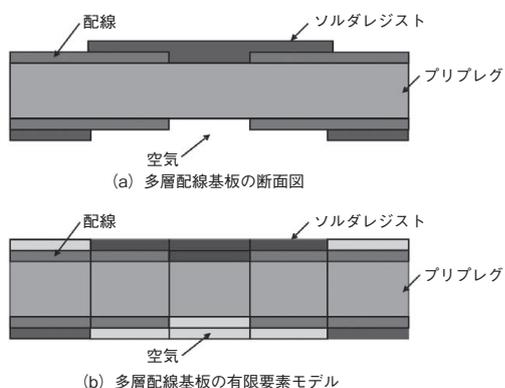
体に対して、各層をソリッド要素でモデル化し積層するのは困難である。また、多層配線基板の中でもっとも体積を占め、熱変形へ大きく影響するのが樹脂材料のプリプレグである。従来のシミュレーション方法では、樹脂材料の粘弾性挙動を表現するために、材料物性としてマスターカーブを使用した粘弾性解析が必要であったが、多層配線基板では長時間の計算が必要となる。

これらの課題を解決するために、積層シェル要素による多層配線基板のモデル化手法と粘弾性特性を考慮した解析手法を開発した。

第5図を用いて、積層シェル要素による多層配線基板のモデル化手法について説明する。第5図 (a) がモデル化の対象とする多層配線基板の断面図の例であり、基材であるプリプレグ、銅箔からなる配線パターンで構成される配線層が交互に積層された構成になっている。また、表面の配線層での露出部は、必要な部分に絶縁用のレジスト層が形成される。

第5図 (b) を用いてモデル化手法について説明する。本手法では、対象とする多層配線基板と層数が等しい積層シェル要素を準備する。次に、基板形状を正方形の積層シェル要素で等分割する。さらに、積層シェル要素と多層配線基板の各層の同じ位置において、もっとも含有率の高い材料をその要素の材料物性として割り当てモデルを作成する。また、配線が露出している部分には、積層シェル要素の層数と整合性をとるため空気層を導入した。第5図の例では、5層の積層シェル要素を用いて板厚方向に縦の線で区切った各断面の材料、厚みを1つの要素に与えることで、各層の各材料をソリッド要素でモデル化することに対して簡易に現実の多層配線基板の構造に近い形状をモデル化でき、高温時の多層配線基板の熱変形を表現できる。

次に、粘弾性特性を考慮した解析手法について説明す



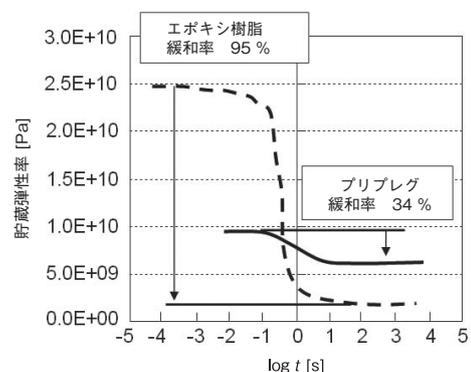
第5図 多層配線基板の有限要素モデル化手法  
Fig. 5 Finite element modeling method of multi-layer PWB

る。第6図に、一般的な樹脂物性であるエポキシ樹脂とプリプレグのマスターカーブの挙動の違いを示す。

一般的なエポキシ樹脂と比較して、プリプレグでは貯蔵弾性率の緩和率が小さくなっているため、粘弾性解析を必要としない。これは、一般的な高分子である樹脂に対して、プリプレグはガラス繊維の布に樹脂を含浸させて製造されるため、樹脂のガラス転移点 (T<sub>g</sub>点) 以上では、ガラス繊維の繊維束の材料物性が影響し、緩和率が小さくなっているためと考える。

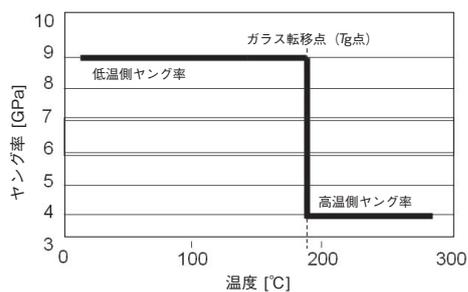
そのため、第7図に示すようにT<sub>g</sub>点を境に、高温側、低温側のヤング率を平均化した材料物性定義で粘弾性挙動を表現し、粘弾性解析から弾性解析へ置き換える解析手法を開発した。

第8図 (a), (b) に開発したシミュレーション技術を適用した基板の面外変形のコタ図 (260℃時の反り) を示す。粘弾性解析の結果 (a) と比較して、プリプレグを温度依存のヤング率に置き換えた弾性解析の結果 (b) においても同等のコタ図を示しており、基板全体の反りの変化を捉えられている。また、本解析評価には、クロック数3 GHzのCPU、16 GBのメモリを搭載したWindows XP<sup>(注1)</sup> x64 EditionのPCを適用し、粘弾性解析の計算には36時間32分、弾性解析では4時間9分で計算が完了し、1/9の時間短縮を可能にした。

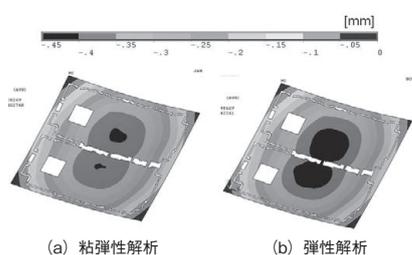


第6図 エポキシ樹脂とプリプレグのマスターカーブの比較  
Fig. 6 Comparison of master curves

(注1) 米国Microsoft Corp. の米国およびその他の国における登録商標または商標



第7図 プリプレグのヤング率の材料物性定義例  
Fig. 7 Example of young's modulus of prepreg

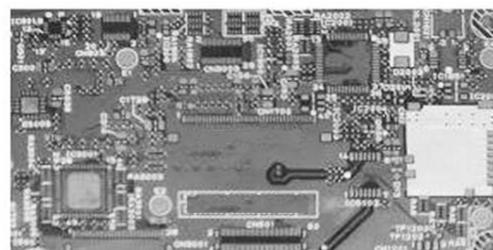


第8図 260°Cにおける基板面外変形の比較  
Fig. 8 Comparison of visco-elastic analysis and elastic analysis at 260°C

### 5. 車載機器向け基板への開発技術の適用

車載機器向けの多層配線基板へ開発したデジタル画像相関法による三次元変形計測技術とシミュレーション技術を適用し、熱変形挙動の比較を行った。

第9図が測定対象となる車載機器の多層配線基板である。この基板を恒温槽内に設置後、260°Cまで加熱し、



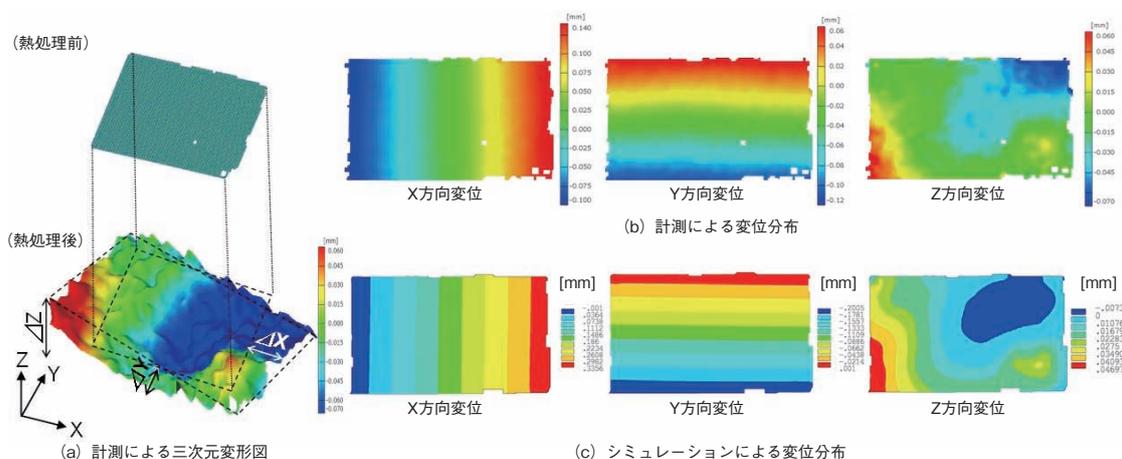
第9図 車載機器向け多層配線基板  
Fig. 9 PWB for vehicle equipment

熱変形挙動を計測するとともに、同様の条件にてシミュレーションを行い、結果の比較を行った。

第10図が260°Cまで加熱した場合の計測結果とシミュレーション結果である。第10図(a)は、熱処理前後での変形図を示しており、多層配線基板の各層を構成する配線パターンなどの影響により変形が生じていることがわかる。

第10図(b), (c)が、260°Cにおける三次元変形計測技術を適用した多層配線基板での各方向での変位分布とシミュレーションによる変位分布を比較したものである。それぞれの結果において、変位分布は、基板面内変形であるX方向、Y方向と面外変形であるZ方向を示している。

X方向、Y方向で分布を比較した場合、計測結果、シミュレーション結果ともに良好に分布の傾向の一致が得られている。また、Z方向の変位分布においても、基板に発生する凹凸の傾向が計測結果と同様にシミュレーション結果でも得られており、260°Cまで加熱された多層配線基板の挙動を良好に表現できている。



第10図 260°Cにおける計測結果と解析結果の比較  
Fig. 10 Comparison of measurement result and simulation result at 260°C

以上の計測結果とシミュレーション結果の双方が、リフロー時の最高温度である260℃において同様の挙動を把握しており、計測技術とシミュレーション技術を組み合わせ、熱変形の挙動を評価することを可能とした。

## 6. まとめ

- 1) デジタル画像相関法を用いた三次元計測技術の構築により、面外の変形はもとより面内の挙動を評価可能とした。
- 2) 積層シェル要素を用いた多層配線基板モデリングにより、高温時でも多層配線基板の熱変形を表現できるモデル化手法を開発した。
- 3) プリプレグのようなマスターカーブにおける貯蔵弾性率の緩和率が小さい材料を粘弾性解析から弾性解析へ置き換える解析手法を開発した。
- 4) 車載機器向けの多層配線機基板に計測技術とシミュレーション技術を適用し、良好に一致した傾向が得られ、熱変形の挙動を評価できていることを確認した。

今回、車載機器の多層配線基板を対象に三次元熱変形計測技術とシミュレーション技術を開発し、両者を組み合わせて挙動を評価する信頼性手法を開発した。

今後、部品実装基板へ展開を行い、当社の車載機器の信頼性向上に貢献していく。

## 参考文献

- [1] 三宅清, “BGAパッケージの硬化収縮を考慮した反り粘弾性解析,” エレクトロニクス実装学会誌, vol.7, no.1, pp.54-61, 2004.
- [2] 平田一郎 他, “FEM粘弾性解析によるLSI-パッケージの反り変形の研究,” 「エレクトロニクスのけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム2005論文集, pp.329-332, 2005.

## 執筆者紹介



佐藤正昭 Masaaki Sato  
生産革新本部 生産技術研究所  
Production Engineering Lab., Corporate Manufacturing Innovation Div.



高橋佳子 Keiko Takahashi  
生産革新本部 生産技術研究所  
Production Engineering Lab., Corporate Manufacturing Innovation Div.



本田直弥 Naoya Honda  
生産革新本部 生産技術研究所  
Production Engineering Lab., Corporate Manufacturing Innovation Div.



濱野誠司 Seiji Hamano  
生産革新本部 生産技術研究所  
Production Engineering Lab., Corporate Manufacturing Innovation Div.